

Abstract of H06-6586:

PURPOSE: To accurately make each pattern form a cavity form to successive grayscale levels, to maintain a correlation between patterns and to obtain an optimal one as a whole correlation pattern in a method for generating a halftone image and a device therefor.

CONSTITUTION: A digital scanner 10 scans an input image such as successive tone picture or the like, and generates the binary display of a grayscale level of pixel with respect to each pixel. The output of the digital scanner 10 is supplied to a general purpose computer 12. In the computer 12, an individual halftone pattern is generated to generate a pattern to each grayscale level. Each pair of patterns is simultaneously generated by minimizing an aggregate cost function being the change of a nonzero spatial frequency weighted by a human visual system modulation transfer function(MTF). Each pattern is then subjected to a modulation address and selecting each bit to form a halftone pattern, and the result is printed by a marking engine 14.

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-6586

(43)公開日 平成6年(1994)1月14日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 4 N 1/40

G 0 6 F 15/68

識別記号

B 9068-5C

3 2 0 A 9191-5L

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数16(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平5-35991

(22)出願日 平成5年(1993)2月25日

(31)優先権主張番号 8 4 8 7 7 9

(32)優先日 1992年3月10日

(33)優先権主張国 米国(U S)

(71)出願人 591264544

イーストマン・コダック・カンパニー  
アメリカ合衆国、ニュー・ヨーク・14650、  
ロチェスター、ステイト・ストリート・  
343

(72)発明者 ローレンス アレン レイ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 ロチェ  
スター エルムウッド アベニュー 3861

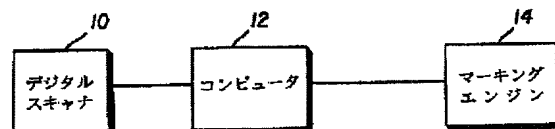
(74)代理人 弁理士 吉田 研二 (外2名)

(54)【発明の名称】 ハーフトーンイメージ生成方法及び装置

(57)【要約】

【目的】 ハーフトーンイメージを発生するための方法及び装置において、確実に、各パターンが連続したグレースケールレベルに対して巣状とされると共に各パターン間の相関が維持でき、相関パターン全体として最適なものを得る。

【構成】 デジタルスキャナ10は、連続トーン写真等の入力画像を走査し、各ピクセルに対してピクセルのグレースケールレベルの2値表示を発生する。デジタルスキャナ10の出力は汎用コンピュータ12に供給され、個々のハーフトーンパターンを発生させ、各グレースケールレベルに対するパターンを生成する。各パターンの組は、人間視覚系変調伝達関数MTFによって重み付けされた非ゼロ空間周波数の変化である集合体コスト機能を最小限化することによって同時に発生される。各パターンは、その後変調アドレスされて各ビットをハーフトーンパターンを形成するためのビットを選択しマーキングエンジン14により印刷される。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ハーフトーンイメージを生成する方法において、  
 相関最小視覚変調2次元2値パターンの集合体を発生するステップであって、各パターンはデジタル入力信号の一濃度レベルに対応し、各パターンの組は人間視覚系変調伝達関数によって重み付けされた非ゼロ空間周波数の変化である集合コスト関数を最小限にすることによって同時に発生されるステップと、  
 各パターンを変調アドレスして各ビットを選択しハーフトーンパターンを形成するステップと、  
 を含むことを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。

【請求項2】 請求項1記載の方法において、  
 各パターン組は合成最小化技術によって発生されることを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。

【請求項3】 請求項2記載の方法において、  
 前記合成最小化技術は推定的アニーリングであることを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。

【請求項4】 請求項2記載の方法において、  
 合成最小化技術は遺伝的アルゴリズムであることを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。

【請求項5】 請求項1記載の方法において、  
 ハーフトーンパターンは2次元アレイにより定められ、該アレイの各素子はハーフトーンパターンが正しい平均濃度をもつように入力信号の濃度レベルを表す整数であることを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。

【請求項6】 請求項5記載の方法において、  
 濃度レベル $q$ に対するハーフトーンパターン $P_q$ は、 $M(i, j)$ を2次元アレイとした場合、下式によって定められることを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。  
 $P_q = 1 \quad q \leq M(i, j) \text{ の時}$   
 $= 0 \quad q > M(i, j) \text{ の時}$

【請求項7】 請求項5または6記載の方法において、  
 前記2次元アレイは $32 \times 32$ であることを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。

【請求項8】 請求項1記載の方法において、  
 前記集合体コスト関数は、 $C_q$ を視覚変調伝達関数によって乗算された離散フーリエ変換の係数から派生した特定ビットパターン $P_q$ のコスト、 $W_q$ を重み付けの組とした場合、下式によって定められることを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。

$$\text{Cost (m)} = \sum_{q=1}^N W_q C_q$$

【請求項9】 請求項8記載の方法において、  
 前記集合体コストは合成最小化技術によって最適化されることを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。

【請求項10】 請求項9記載の方法において、  
 合成最小化技術は推定的アニーリングであり、

2

(ア) パターン $P_q$ が正しい平均グレースケール値を持つようにランダム選択されたエントリーでアレイ $M$ を開始するステップと、

(イ) アレイ $M$ の視覚コストを決定するステップと、

(ウ) アレイ $M$ を形成しコスト $C_1$ を演算するための2個のエントリーを交換するステップと、

(エ)  $C_0$ と $C_1$ との絶対差を演算し、その結果をテーブル内に記憶するステップと、

(オ) 上記各ステップ(ア) - (エ)を多数回実行し、  
 テーブルを順次記憶し、初期に受容されるコスト増大の比率を表す値を選択するステップと、

(カ) テキスト統計 $\pi$ を演算するステップと、

(キ) 新たなアレイ $M$ を構成するステップと、

(ク) このアレイ $M$ の視覚コストを演算して $C_{old}$ とするステップと、

(ケ) アレイ $M$ の2個のエントリーを交換し、結果として得られた視覚コスト $C_{new}$ 、及び視覚コストの変化 $\Delta \text{Cost} = C_{old} - C_{new}$ を演算するステップと、

(コ)  $\Delta \text{Cost} \leq 0$ 、0であるならばその変化を受容して $C_{old} = C_{new}$ とするステップと、

(サ) もし $\Delta \text{Cost} > 0$ 、0であるならば統計 $\rho = \exp(-\Delta \text{Cost} / \pi)$ を演算してランダム数 $\xi$ 、 $0 < \xi < 1$ を演算し、 $\rho < \xi$ であるならば新たな構成、及び $C_{old} = C_{new}$ を受容し、それ以外の場合にはアレイ $M$ をそのままとするステップと、

(シ) 上記各ステップ(ク) - (サ)を多数回繰り返し、 $\kappa < 1$ である総和ファクタ $\kappa$ によって温度 $\pi$ を低減して新たな温度 $\kappa \pi$ を形成するステップと、

(ス) 上記各ステップ(ク) - (シ)を視覚コストがそれ以上減少しなくなるまで多数回繰り返すステップと、  
 を含むことを特徴とするハーフトーンイメージ生成方法。

【請求項11】 ソース物質内のピクセルの濃度レベル(グレーレベル)を表すデジタル信号をソース物質から発生するデジタルスキャナと、  
 スキャナからのデジタル信号に対して作用して相関最小視覚変調2次元2値パターンを発生するようにプログラムされたコンピュータであって、各パターンはデジタル入力信号の一濃度レベルに対応し、各パターンの組は人間視覚系変調伝達関数によって重み付けされた非ゼロ空間周波数の変化である集合体コスト関数を最小限にすることによって同時に発生されるコンピュータであって、更にハーフトーンパターンを形成するためのビットを選択するパターンを変調アドレスするようプログラムされるコンピュータと、  
 コンピュータにより駆動されハーフトーンイメージを生成するマーキングエンジンと、  
 を含むことを特徴とするハーフトーンイメージ生成装置。

【請求項12】 請求項11記載の装置において、

前記コンピュータは合成最小化技術によってパターンを発生するようプログラムされていることを特徴とするハーフトーンイメージ生成装置。

【請求項13】 請求項12記載の装置において、前記合成最小化技術は推定的アンチアライメントであることを特徴とするハーフトーンイメージ生成装置。

【請求項14】 請求項12記載の装置において、前記合成最小化技術は遺伝的アルゴリズムであることを特徴とするハーフトーンイメージ生成装置。

【請求項15】 請求項11記載の装置において、前記マーキングエンジンは、レーザプリンタであることを特徴とするハーフトーンイメージ生成装置。

【請求項16】 請求項15記載の装置において、前記レーザプリンタは300-500ドット/インチの範囲の解像度を有することを特徴とするハーフトーンイメージ生成装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【産業上の利用分野】本発明はデジタルイメージ処理分野、特に、全体が最小視覚変調用に最適化された変調ビットマップパターンの相関データベースを用いた連続トーンイメージのデジタルハーフトーニング方法に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】デジタルハーフトーニングは、眼がグレースケールレベルの表現として感受するドットとノードットとのパターンにより、連続トーンイメージをシミュレートする技術である。ハーフトーニングは、例えばドットの印刷かオープンスペースを空けることのみが可能レーザプリンタ等の印刷装置により、連続トーン写真を表すために用いられる。平均所望濃度またはグレースケールレベルを表し得るドットとノードットとのパターンには、ほぼ無制限といえる数のものが存在することが想像できよう。しかし、そのようなパターンは、画質を著しく劣化させるモワレパターン等の視覚ノイズを含んだイメージを生成することがある。従って、本発明の目的は、特定信号グレーレベルを平均的に表すドットとノードットとのパターンに対して視覚的に感受される変調ノイズを最小限に抑制することにある。

【0003】連続トーンイメージを発生するためのハーフトーニングは、1960年代中期から実用化されている(Comm. of the ACM, Vol. 7, No. 5 pp311-313にPerry and Mendelsohnにより記述された「Picture Generation with Standard Line Printer」参照)。現在使用されている主な2つの技術は、デジザリング及びエラー拡散である。MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp77-79, 127, 239-240にUlrichneyにより記載されたDi-

gital Halftoningを参照。最も注目すべきデジザリング技術は、ランダムデザイナ、クラスタードットデザイナ、散乱ドットデザイナ、及びデザイナパターン索引表である。ランダムデザイナが最初に開発されたのであるが、生成される画質が低いためにほとんど使用されていない。

【0004】クラスタードットデザイナ及び散乱ドットデザイナは、圧倒的に最も広く普及しているクラスタードットデザイナと共に用いられる。これらの技術は、しきい値スクリーンパターンに基づいている。該パターンは、通常は固定サイズ例えば8x8のイメージピクセルであり、これが入力デジタルイメージ値と比較される。もし入力値がスクリーンパターン数よりも大きければ出力は「on」に設定され、それ以外の場合には「off」へセットされる。しきい値マップは、通常シーケンシャルに構成され、その出力パターンは前ハーフトーン濃度レベルに対して為された決定に対して条件が定められる。クラスタードットパターン技術の場合には各パターンは中心成長ドットから展開するが、この方法はドットサイズが変化するソログラフイー等のグラフィックアート装置で生成されるハーフトーンと同様である。

【0005】大きなパターンを用いるほど得られるレベルも大きくなるが、同時にレベル間移行のピッチがそれに応じて粗くなるので、有効解像度が低減してしまう。例えば300-500ドット/インチのコピー機及びプリンタの中間ピクセルレートでは、4x4より大きなスクリーンパターンでパターンアーティファクトが視認可能になってしまう。結果として得られる有効レベル数例えば16は、通常の連続トーンイメージには不適である。

【0006】デザイナパターン索引表は、エラー拡散等の方法に対する実行の簡易性を維持しつつ、しきい値法に通常生じる解像度が低減するという問題を回避しようというものである。これらのパターンは、変調形態でアクセスされるこの技術におけるデータベースとして使用される。この技術におけるデータベース内の各ハーフトーンパターンは、選択されたグレースケールに対して視覚歪が最小となるよう独立的に定められる(IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 22 1, No. 1, 1991, pp. 33-38にJ. Sullivan, L. Ray and R. Millerによって記載された「Design of Minimum Visual Modulation Halftone Patterns」参照)。これらのパターンは、tint-fill装置に対しては優れているが、一般的な撮像装置に適用した時の結果は期待できない。

【0007】エラー拡散は、固定パターンが存在しないデザイナパターンハーフトーニングアプローチとは基本

5

的に異なるものであるが、それに代えて帰納的アルゴリズムが用いられる。該アルゴリズムは、2値で連続入力信号を表すことにより生じたエラー原因を補正する。エラー拡散の2個の主成分は、フラクシヨンのマトリックスである。フラクシヨマトリックスは、重み付けされた過去のエラー及び該重み付けされたエラーの総和に基づくしきい値演算子と、「on」または「off」のいずれを出力するかを定める現ピクセルと、である。エラー拡散技術は、2次元型即ちエラーが前ライン及び前ピクセルからフィードバックされるものが最も優れている。エラーフィードバックメカニズムは通常線形であり総和エラーは過去のエラーの線形組み合わせであるが、しきい値設定は非線形であり、これによって複合処理も非線形となる。しきい値設定を信号依存ゲインとして近似させると、正エラー重み付けに対して出力2値信号が、イメージへの「青ノイズ」を導入する均一イメージ領域における高域通過性（ハイパス）となる（上記引用したUlinchney参照）。Ulinchneyにより言及されているように、この「青ノイズ」は、その感知が人視覚系により低域通過り過されると更に高次な信号ノイズ比感受性が得られるので低減され、極めて好ましい特徴である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】残念ながら、エラー重み付けは、この好適なノイズ特性には間接的に関わるものである故に、最適状態には及ばない次善的制御にとどまる。また或信号レベルに対しては、カジュアルフィードバックは視覚的に受け付けられない「虫様」または相関パターンを発生する視覚的に不安定なものとなる可能性がある。最も一般的な解決法は重み付けを無作為に変調することであるが、これは、「虫様」を低減するがノイズをも増大してしまう。

【0009】個々のハーフトーンパターンは、受容可能品質の画像をそれぞれ生成するために相関させなければならない。パターンを相関させないアプローチでは、画像ノイズが激しくなり、これはランダムドットデザイアパターンを用いた時の結果とほぼ同様となる。一般的なアプローチは、パターンの巣状組を定めることである（Proc. IEEE Int. Comm. Conference Record, pp. (26-11) - (26-15) に B. E. Bayer によって記載された「Optimal Method for Two-Level Rendition of Continuous-Tone Pictures」参照）。

【0010】他のハーフトーン法では、視覚モデルを用いてハーフトーンパターンが設計される。これらのパターンは通常「青ノイズ」パターンと呼ばれるものである。上述のように、「青ノイズ」は望ましい特徴ではある。しかし、従来技術では、各パターンの選択は格子またはシーケンシャル決定プロセスのいずれかによって

6

シーケンシャルに行われる（米国特許出願第476090号（発明の名称：「相関最小可視変調パターンを用いたデジタルハーフトーンニング」；出願日：1990年2月7日；発明者：Lawrence A. Ray 及び James R. Sullivan）及び「ブルーノイズマスクを用いたデジタルハーフトーンニング」（著者：Theophano Mitsa 及び Kevin J. Parker, in Image Processing Algorithms and Techniques II, SPIE Vol. 1452, 1991, pp. 47-56）参照）。これらの方法は、シーケンシャル決定プロセスに依存するものであるため、制限される。このようなシーケンシャル決定プロセスは、各段階での結果を最適化しようとするものであるが、後段のパターン選択プロセスの結果は次善的なもので終わっている。

【0011】本発明は上記従来技術の有する課題に鑑みなされたものであり、確実に、各パターンが連続したグレースケールレベルに対して巣状とされると共に各パターン間の相関が維持でき、相関パターン全体として最適なものを得ることができるハーフトーンイメージ生成方法及び装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段及び作用】ハーフトーンイメージを生成するための本発明に係る方法は、相関最小可視変調2次元2値パターンの集合体を発生するステップを含む。各パターンは、デジタル入力信号の一の濃度レベルに対応している。複数のパターンから成る組は、人間の視覚系変調伝達関数により重み付けされた非ゼロ空間周波数の変化であるコストの総和である集合体コスト関数を最小限に抑制することによって同時に発生する。各パターンは、その後変調アドレスされ、ハーフトーンパターンを形成するためのビットを選択する。一実施例では、各パターンの組は合成最小化技術である推計学的アニーリングにより生成される。他の実施例における最小化技術は、遺伝性アルゴリズムである。

【0013】ハーフトーンパターンは、2次元ピクセルアレイによって定められる。該アレイの各素子は、ハーフトーンパターンが正しい平均濃度を持つように選択された入力信号のピクセル濃度レベルを表す整数である。2次元アレイは  $N \times N$ 、特に  $32 \times 32$  であることが望ましい。適切な集合体コスト関数は、視覚変調移行関数によって乗算された個別フーリエ変換の係数から派生した個別ビットパターンに対するコストの和である。 $N \times N$  ピクセル（例： $32 \times 32$ ）アレイは、イメージ中の各濃度レベルに対してビットマップパターンを明確に定める。各パターンは、相関され、イメージ中の各ピクセル値及び各ピクセル位置を用いたパターンの相関及び係数アドレッシングにより加えられた制約範囲内で全体として最小の視覚ノイズとなる。各グレーレベルにおいて、

アレイは個別に正しい平均濃度をもつハーフトーンパターンを定める。

【0014】本発明のポイントは、従来技術で周知のシーケンシャルプロセスと異なり、各パターンが同時に展開されることである。本発明の技術は、構成の複雑性を最小限としつつ最適画質を発生することができる。この品質は、局部的に最適化されるか或いは最適化が前の決定または前の最適化に対して条件付けられるシステムとは異なり、全体的に最適化されることによって達成される。従来技術において、各パターンは、相関されているにもかかわらず前の結果に対して高度に条件化されたレベルで望ましくない空間周波数を示し始めるが、前パターン選択のためにこれらの空間周波数を除去できないのである。本発明によれば、集合体を全体として最適化することにより、各パターン相互のバランスを確立できるので、例えば奇数であるというような不適切な数値的特性によって特定のパターンに不都合が生じることはなく\*

$$P_q(i, j) = 1 \quad (q \leq M(i, j)) \\ = 0 \quad (q > M(i, j)) \quad (1)$$

各ハーフトーンパターンは、受容可能な品質の画像を生成するために相関される必要がある。上述したように、各パターンを相関させない方法では、ランダムドットデザイナパターンを用いた場合とほぼ同様に深刻な画像ノイズ発生を招く。上記式(1)で表された方法により、各パターンは確実に連続グレーレベルに対して巣状化されると共にその相関が維持される。

【0017】本発明に係るハーフトーン画像発生方法は、全入力ピクセルレベルに対して同時に相関最小視覚変調パターンを設定するステップと、各パターンを変調アドレスしてハーフトーン画像中で使用されるビットを選択するステップと、を含む。ここでは、ビットマップパターンの設定をまず説明し、次いでアドレッシング及びパターン選択プロセスに言及する。

【0018】本発明の目的は、平均的に特定信号レベルを表示するドットと非ドットとのパターンに対する視覚変調を最小限に抑制することである。更に、各パターンは、各パターン間における入力信号差または組織差に起因する変位により発生するあらゆるアーチファクトを低減するため、十分に相関されなければならない。パター※

$$V_{ij} = a(b + c f_{ij}^{-1}) \exp(-(c f_{ij}^{-1})^d) \quad (f_{ij}^{-1} > f_{\max}) \\ = 1.0 \quad (\text{それ以外}) \quad (2)$$

ここで、定数a, b, c及びdは経験的にそれぞれ2.2, 0.192, 0.114及び1.1と演算され、 $f_{ij}^{-1}$ は視覚距離に対してスケールされた視覚対辺のサイクル/度で表されるラジアル空間周波数であり、 $f_{\max}$ は機能的MTF関数がピークとなる周波数である。この機能を実行するためには、離散水平及び垂直ドキュメン★

$$f_i = (i-1)/\Delta N \\ f_j = (j-1)/\Delta N \quad (3)$$

\*なる。

【0015】本発明で使用されるコスト関数は、ハーフトーンパターンに伴うノイズを、完全ランダム構造として現れそして視覚的に訴えるような方法で拡大する。このようにして、本発明では、従来技術で視認者の目とらえていた分離空間周波数を除去する。

【0016】

【実施例】以下において、256グレースケールレベルに対する各パターンは、32x32アレイMを用いて設計されるものとする。本発明の方法は汎用的なものであり、任意のレベル数及びアレイサイズへ適用可能であることを強調しておく。256グレースケールレベルに対しては、アレイMの各素子は、0と255との間の整数値である。各グレーレベルにおいて、アレイMは正しい平均濃度をもつハーフトーンパターンを個別に定める。グレースケールレベルqに対しては、ハーフトーンパターンPqは次式(1)によって定められる

20※ン発生基準の第1アспектとしては、与えられたパターンに対する視覚的変調またはコストの定義、及びコスト最小化の方法が必要となる。パターン発生第2アспектは、各パターンを相関させること及び同時に全体を設定するために使用される全体コストを定めることである。

【0019】通常の視覚距離すなわち10インチに対する人間の視覚系の有効2次元変調伝達機能MTFが図1に示されている。この伝達機能には、人間視覚系の低コントラスト明所MTFの機能モデルにおける第1オーダーに設定された視覚変調の定義が必要となる(SPIE Proc., Vol. 1077, 1989, pp. 217-227にS. Daly, SPIE Proc., によって記載された「Application of a noise adaptive contrast sensitivity function to imagedata compression」参照)。MTF機能は、次式により与えられる。

【0020】

★ト周波数 $\{f_i, f_j\}$ をラジアル視覚周波数へ変換することが必要である。

【0021】対称的印刷グリッドに対しては、水平及び垂直離散周波数は周期的であり、ドットピッチ $\Delta$ 及び周波数の数Nに関する次式で与えられる。

【0022】

これらをラジアル周波数へ変換し、そしてその結果を視認距離  $dis$  (mm) に対するサイクル/視度度へスケールリングすることによって、次式が得られる。

\*【0023】  
【数1】

$$f_y = \frac{\pi}{180 \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{1 + dis^2}}\right)} \sqrt{f_i^2 + f_j^2} \quad (4)$$

視覚MTFの変動を視角  $\theta$  の関数として説明するには、これら周波数を角度依存関数  $S_{ij}(\theta)$  によって標準

$$f_{ij}^* = f_{ij} / S_{ij}(\theta) \quad (5)$$

ここで、角標準化関数  $S_{ij}(\theta)$  はDalyによって次のように与えられている。

※化し、式(4)を用いることが好適である。これは、  
★【0024】  
【数2】

$$S_{ij}(\theta) = \frac{1-w}{2} \cos(4\theta) + \frac{1+w}{2} \quad (6)$$

ここで、 $w$ は対称パラメータであり、そして  $\theta$  は次式で表される。

☆【0025】

$$\theta = \arctan(f_j / f_i) \quad (7)$$

式(6)を検討すると、 $w$ が減少するに従って、 $S_{ij}(\theta)$ がほぼ45度へ減少する。これによって  $f^*$  が増大して  $V_{ij}$  が減少し、この結果、視覚MTFがこれらの角度において更に低域通過性が増す。 $\Delta = 0.0625$  (すなわち400ドット/インチ)、 $N = 32$ 、及び  $w = 0.7$  における通常視距離での視覚MTFが図1に示され、同図には視覚系の低域通過特性及び低減された4

20◆5度の感度が明かにされている。  
【0026】用いることが可能な多くのコスト関数が存在しており、ここで開示したアプローチは特定のコスト関数へ限定されるものではない。一の明白なコスト機能は、次式で与えられる。  
【0027】

$$Cost = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N V_{ij} R_{ij}^2 \quad (8)$$

ここで、 $R_{ij}^2$  は、ハーフトーンパターンのフーリエ変換の平方の大きさである。もし人間の視覚系が真に線形であれば、式(2)のMTFはハーフトーンノイズの感受性を完全に特徴化するのに十分となる。しかしながら、人間の視覚系が線形でなく周期的ノイズ及び複製パターンに極めて感受性が強いので、式(8)により表されたものよりも更に洗練されたコスト関数が望ましい。式(8)により表されたコスト関数は、個別周波数に対する優先性をもつ。以下に詳述した改善されたコスト関数は、空間周波数領域内で平滑であるが人間視覚系のモデルと合致した方法でパターン信号を拡大する。この効果として、優先性が離散周波数へ低減されることが挙げられる。この好適なコスト関数は、人間視覚系モデルにより重み付けされた非ゼロ空間周波数の平方偏差である。目的は平方偏差を最小限に抑制することであり、こ

30\*これは重み付けされた或いは視覚ホワイトノイズとして考慮可能である。実験的に、このコスト関数は視覚的により優れた受容性をもつパターンを生成する。  
【0028】パターン  $M(i, j)$  から派生した特定  $N \times N$  ビットパターン  $P_q$  に対するコストを評価するため、パターン  $P_q$  の離散フーリエ変換(DFT)の係数が演算され、そして視覚MTFが乗算され、 $R(i, j)$  とされる。コストは、 $R(0, 0)$  以下のアレイ  $R$  のエントリーの平方偏差である。 $R(0, 0)$  の値は平均レベルであり、パターン  $P_q$  の任意の形態に対する定数である。より低いコストは、視覚空間周波数が支配しない視覚的に白のパターンノイズを表す。このコストを  $C_q$  とする。全体の総コストは、 $q = 1, \dots, 254$  に対する全  $C_q$  の重み付けされた和により与えられる。象徴的に、

$$Cost(m) = \sum_{q=1}^{254} W_q C_q \quad (9)$$

ここで、 $W_q$ 、 $q = 1, 254$  は、重み付けの組であり、本発明では全ての  $W_q$  は等しい。重み付け  $W_q$  の選択は、設計パラメータである。もし中間グレースケール

※レベルがより重要なのであれば、相対重み付けが増大する。

【0029】拡散ドットパターンの有効グレースケール

11

は、単純に期待されるように線形に変化するように示されている。I. Chenにより記載された「Stochastic Model of Halftone Images in Digital Electrophotography」、Journal of Imaging Science, Vol. 35, No. 1, January/February 1991, pp. 44-48参照。しかしながら、非線形性はテーブルエントリを唯一となるように選択し、最良相関パターンを定めるために推定学的アニーリング処理を適用することによってしきい値マップを変更することによって容易に処置可能である。Chen referenceからモデルを適用することにより、感受されたグレースケールは評価可能であり、そして1024の256値が線形応答性を維持するように選択可能である。

【0030】パターン集合体の大きな数が決定可能であるから、最適集合体の選択は有効(重要)な組み合わせの問題となる。集合体を最適化するための一の方法は、遺伝的アルゴリズムである(「Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning」 by David E. Goldberg, Addison-Wesley, Reading, Mass. 1989 参照)。集合体を最適化する他の方法は、推定学的アニーリングまたはシミュレートされたアニーリングとして知られる方法を適用することである(「Design of Minimum Visual Modulation Halftone Patterns」, by J. Sullivan, L. Ray and R. Miller, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 21, No. 1, January 1991, pp. 33-38を参照。この方法のキーとなる特徴は、それが個別サーチスペースに極めて適していること及び局部最小は各反復におけるコスト増大受容可能性によってエスケープされ得ることである。

【0031】推定的アニーリングは、現在の形態及びその視覚コストを演算することによって実行される。アレイM中における2個のエントリはランダムに選択され、すなわち、もし $M((i,j)_0) \neq M((i,j)_1)$ であれば $(i,j)_0$ 及び $(i,j)_1$ であり、2つのエントリは交換される。また、 $M((i,j)_0) = q_0$ 及び $M((i,j)_1) = q_1$ であるならば、 $q_0 \leq q \leq q_1$ に対する全てのパターン $P_q$ が乱され新たな視覚コストが新たなMアレイのコストを設定するために演算されなければならない。

【0032】以下に、パターンサイズが $32 \times 32$ であるが、明かな変更によってこれらのパターンを他のアレイサイズへ拡大することが可能である。

【0033】推定的アニーリングの詳細は次の各ステップに含まれる。

12

【0034】1. パターン $P_q$ が正しい平均グレースケール値を持つようにランダム選択されたエントリでアレイMを開始する。 $32 \times 32$ アレイMを用いた256グレースケールレベルの場合には、開始されたアレイMは51、102、153及び204等の4個の値が正確に5回選択されるようにランダム選択されたエントリを有し、そして1と254との間の全ての他の値は正確に4回選択された。

【0035】2. アレイMの視覚コストを上述のように定め、 $C_0$ とする。

【0036】3. Mにおける2個のエントリを交換してアレイ $M_1$ を形成し、コスト $C_1$ を演算する。

【0037】4.  $C_0$ と $C_1$ との絶対差を演算し、その結果をテーブル内に記憶する。

【0038】5. 各ステップ1-4を多数回例えば1000回実行し、テーブルを順次分類し、テーブルエントリ800に対して初期に受け入れられるコスト増大例えば80%の比率を表す値を選択する。

【0039】6. 次式で与えられるテスト統計 $\tau$ を演算する。

【0040】 $\tau = \exp(-\text{Table}(800))$

この統計は一般にシステムの温度として知られ、初期温度として使用される。

【0041】7. 新たなアレイMを構成する。

【0042】8. このアレイの視覚コストを演算し、 $C_{old}$ とする。

【0043】9. アレイMの2個のエントリを交換し、その結果得られる視覚コスト $C_{new}$ 及び視覚コストの変化 $\Delta \text{Cost} = C_{old} - C_{new}$ を演算する。

【0044】10. もし $\Delta \text{Cost} \leq 0.0$ であるならば、変化及び $C_{old} = C_{new}$ を受容する。

【0045】11. もし $\Delta \text{Cost} > 0.0$ であるならば、統計 $\rho = \exp(-\Delta \text{Cost} / \tau)$ 及びランダム数 $\xi$ 、 $0 < \xi < 1$ を演算する。もし $\rho < \xi$ であるならば、新たな構成及び $C_{old} = C_{new}$ を受容する。それ以外の場合には、アレイMはそのまになる。

【0046】12. 各ステップ8-11を多数回例えば1000回繰り返す、その後温度 $\tau$ を $\kappa < 1$ である或ファクタ $\kappa$ 分だけ低減し、新たな温度 $\kappa \tau$ を形成する。

【0047】13. 各ステップ8-12を多数回例えば100回或いは視覚コストがそれ以上減少しなくなるまで繰り返す。

【0048】図2は、本発明の技術を示したブロック図である。デジタルスキャナ10は、連続トーン写真等の入力画像を走査し、各ピクセルに対してピクセルのグレースケールレベルの2値表示を発生する。デジタルスキャナ10の出力は、スーパーコンピュータ等の汎用コンピュータ12によって処理される。コンピュータ12は上述の処理によって個々のハーフトーンパターンを發展させ、各グレースケールレベルに対するパターンを生成

13

する。上述した実施例において、コンピュータ12はコンピュータ12内のメモリ内に記憶された256のパターンを発生する。ピクセルのグレースケールレベルに対応するパターンは、300-500ドット/インチの解像度をもつレーザプリンタ等のプリンタであるマーキングエンジン14によって印刷される。処理は、入力物質の各ピクセルに対して繰り返される。このようにして、視覚ノイズを最小限に低減するハーフトーンイメージが生成される。

【0049】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のハーフトーンイメージ生成方法及び装置によれば、確実に、各パ

14

ターンが連続したグレースケールレベルに対して巣状とされると共に各パターン間の相関が維持でき、相関パターン全体として最適なものを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

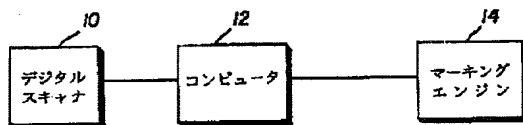
【図1】本発明の実施例におけるデジタルハーフトーンイメージ生成装置の構成ブロック図である。

【図2】本発明の実施例における人間の視覚変調伝達機能のグラフである。

【符号の説明】

- 10 デジタルスキャナ  
12 コンピュータ  
14 マーキングエンジン

【図1】



【図2】

